昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, January 2012, 55(1): 36 – 45 ISSN 0454-6296

新烟碱类和大环内酯类杀虫剂对四种赤眼蜂成蜂急性毒性和安全性评价

王彦华，俞瑞鲜，赵学平*，安雪花，陈丽萍，吴长兴，王 强

（浙江省农业科学院农产品质量标准研究所，省部共建国家重点实验室培育基地——浙江省植物有害生物防控重点实验室，农业部农药残留检测重点实验室，杭州 310021）

摘要：为了明确新烟碱类和大环内酯类杀虫剂对天敌赤眼蜂 *Trichogramma* spp. 的影响，在室内采用药膜法测定了其对稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum* Ashmead、亚洲玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostriniae* Pang *et* Chen、拟澳洲赤眼蜂 *Trichogramma confusum* Viggiani 和广赤眼蜂 *Trichogramma evanescens* Westwood 成蜂的急性毒性，并进行了安全性评价。急性毒性测定结果表明：在测定的新烟碱类药剂中，噻虫嗪对拟澳洲赤眼蜂和稻螟赤眼蜂表现出最高的急性毒性，其 LC_{50} 分别为 0.24（0.21～0.27）和 0.40（0.37～0.44）mg a.i./L；其次为烯啶虫胺，该药剂对上述两种赤眼蜂的 LC_{50} 分别为 0.83（0.74～0.96）和 0.72（0.65～0.80）mg a.i./L；而吡虫啉对亚洲玉米螟赤眼蜂和拟澳洲赤眼蜂的毒性最低，其 LC_{50} 分别为 502.13（459.80～549.62）和 752.62（687.51～828.63）mg a.i./L。在测定的大环内酯类药剂中，阿维菌素对稻螟赤眼蜂的急性毒性最高，其 LC_{50} 为 0.49（0.46～0.65）mg a.i./L，而甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对拟澳洲赤眼蜂表现出最低的急性毒性，其 LC_{50} 为 21.76（19.59～24.40）mg a.i./L。安全性评价结果表明，吡虫啉、啶虫脒、氯噻啉和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对 4 种赤眼蜂为低风险～中等风险性，安全性系数为 0.57～23.54；噻虫啉和依维菌素对 4 种赤眼蜂却为中等风险～高风险性，安全性系数为 0.16～3.45；而烯啶虫胺、噻虫嗪和阿维菌素对 4 种赤眼蜂为高风险～极高风险性，安全性系数为 0.01～0.15。本研究测定的大部分杀虫剂对赤眼蜂都有一定的急性毒性风险。因此，在害虫综合治理中应谨慎使用新烟碱类和大环内酯类杀虫剂尤其是烯啶虫胺、噻虫嗪和阿维菌素，以免造成对赤眼蜂的大量杀伤。

关键词：赤眼蜂；杀虫剂；新烟碱类；大环内酯类；毒副作用；卵寄生蜂；急性毒性；安全性评估

中图分类号：Q965.9 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2012)01-0036-10

Acute toxicity and safety evaluation of neonicotinoids and macrocyclic lactiones to adult wasps of four *Trichogramma* species (Hymenoptera: Trichogrammidae)

WANG Yan-Hua, YU Rui-Xian, ZHAO Xue-Ping*, AN Xue-Hua, CHEN Li-Ping, WU Chang-Xing, WANG Qiang (State Key Laboratory Breeding Base for Zhejiang Sustainable Plant Pest and Disease Control, Key Laboratory for Pesticide Residue Detection of Ministry of Agriculture, Institute of Quality and Standard for Agro-products, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

Abstract: To clarify the side effects of insecticides on trichogrammatid wasps, acute toxicities of neonicotinoids and macrocyclic lactiones to adult *Trichogramma japonicum* Ashmead, *Trichogramma ostriniae* Pang *et* Chen, *Trichogramma confusum* Viggiani and *Trichogramma evanescens* Westwood were determined by using the dry film residue method under laboratory conditions, and the safety of these insecticides was also evaluated. Among the neonicotinoids tested, thiamethoxam showed the highest intrinsic toxicity to *T. confusum* and *T. japonicum* with the LC_{50} values of 0.24 (0.21 – 0.27) and 0.40 (0.37 – 0.44) mg a.i./L, respectively. Nitenpyram had the less toxicity to *T. confusum* and *T. japonicum* with the LC_{50} values of 0.83 (0.74 – 0.96) and 0.72 (0.65 – 0.80) mg a.i./L, respectively. Imidacloprid exhibited the least toxicity to *T. ostriniae* and *T. confusum* with the LC_{50} values of 502.13 (459.80 – 549.62) and 752.62 (687.51 – 828.63) mg a.i./L, respectively. Among the macrocyclic lactiones selected, abamectin showed the highest toxicity to *T. japonicum* with the LC_{50} of

基金项目：科技部国际合作项目(S2010GR0905)；国家“863”计划项目(2011AA100806)；浙江省农业科学院与中国科学院合作项目；浙江省农业科学院农产品质量标准研究所所选项目

作者简介：王彦华，男，1979 年生，博士，主要从事农药应用与生态毒理学研究，E-mail：wangyanh79@163.com

*通讯作者 Corresponding author，E-mail：zhaoxueping@tom.com

收稿日期 Received：2011-09-15；接受日期 Accepted：2011-11-21

0.49 (0.46 – 0.65) mg a.i./L, whereas emamectin benzoate had the lowest toxicity to *T. confusum* with the LC_{50} of 21.76 (19.59 – 24.40) mg a.i./L. Results of safety evaluation showed that imidacloprid, acetamiprid, imidaclothiz and emamectin benzoate were classified as low to moderate risk with the safety factor of 0.57 – 23.54, and thiacloprid and ivermectin were ranked as moderate to high risk with the safety factor of 0.16 – 3.45, while nitenpyram, thiamethoxam and abamectin were classified as high to extremely high risk with the safety factor of 0.01 – 0.15. Most of the insecticides here tested have the potential risk of acute toxicity, so the use of neonicotinoids and macrocyclic lactiones, especially for nitenpyram, thiamethoxam and abamectin, should be evaluated carefully in integrated pest management (IPM) programs for avoiding serious damages to trichogrammatid wasps.

Key words: *Trichogramma* spp.; insecticides; neonicotinoids; macrocyclic lactiones; toxic side effects; egg parasitoids; acute toxicity; safety evaluation

赤眼蜂 *Trichogramma* spp. 能寄生于害虫卵内使其不能发育孵化，对控制多种农林害虫的发生为害起着重要作用(Smith, 1996; Herz *et al.*, 2007; Bayram *et al.*, 2010)。作为卵寄生蜂的赤眼蜂已经成为国内外害虫生物防治中研究最多、应用最广泛的一类重要害虫天敌(Takada *et al.*, 2001; Williams and Price, 2004; Gardner *et al.*, 2011)。长期以来，化学防治一直是控制害虫的重要途径，但化学农药的长期、大量及不合理使用易引起“3R”问题(Wang *et al.*, 2008b; Bao *et al.*, 2009)。此外，施用农药在消灭害虫的同时也可能对天敌产生毒副作用，降低了其对生境中害虫较长时期内的自然控制能力，进而对生态系统产生一系列不利影响(邓玲玲等, 2005; 刘慧平等, 2007; Wang *et al.*, 2008a; Saber, 2011)。随着人们环保意识的增强，在有害生物防治中越来越倾向于采用对环境没有毒副作用的生物防治方法，但在今后相当长的一个时期内化学防治仍是控制有害生物的重要手段(Zchori-Fein *et al.*, 1994; Cônsoli *et al.*, 1998; Rae *et al.*, 2009; Bueno *et al.*, 2011)。因此，开展农药对天敌的毒性评价，避免或减轻农药在使用过程中对天敌的杀伤是害虫综合治理体系的重要组成部分。

国内外关于农药对赤眼蜂的影响的研究已有诸多报道，但所涉及的农药种类多为常规的有机磷类、氨基甲酸酯类和拟除虫菊酯类等杀虫剂(陈永明等, 1994; 杨崇珍等, 1995; 张敏玲, 1997; Gandhi *et al.*, 2005; Thomson and Hoffmann, 2006)。研究表明，常规的有机磷类和氨基甲酸酯类杀虫剂对赤眼蜂通常具有较高的急性毒性，且不安全(Carmo *et al.*, 2010; Bueno *et al.*, 2011)，如乙酰甲胺磷和仲丁威对螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* (Preetha *et al.*, 2009)，而具有广谱特性的拟除虫菊酯类杀虫剂对害虫和天敌赤眼蜂都显示出较高的杀虫活性(Carmo *et al.*, 2010)，如醚菊酯对螟黄赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* (Takada *et al.*, 2001; Preetha *et al.*, 2009)。昆虫生长调节剂作用于昆虫特定的龄期，它们通常被认为对天敌赤眼蜂较为安全(Schneider *et al.*, 2008)，但研究表明该类药剂对赤眼蜂成蜂较为安全，而对赤眼蜂成蜂外的其他龄期(如卵、幼虫和蛹)则不安全(Cônsoli *et al.*, 2001)，如氟啶脲对松毛虫赤眼蜂(Takada *et al.*, 2001)。

新烟碱类(吡虫啉、啶虫脒、烯啶虫胺、噻虫嗪、氯噻啉及噻虫啉)和大环内酯类(阿维菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐及依维菌素)杀虫剂是目前发展较快的农药种类，它们对多种重要农业害虫显示出较高的杀虫活性，而且对哺乳动物低毒，正在被世界各地广泛使用(Lasota and Dybas, 1991; Jeschke and Nauen, 2008)。有关上述两类杀虫剂对天敌赤眼蜂毒性影响也有报道，如吡虫啉对卷蛾赤眼蜂 *Trichogramma cacaoeciae* 成蜂具有较高毒性风险(Saber, 2011)，但仍然不够深入。本研究测定了新烟碱类和大环内酯类杀虫剂对 4 种赤眼蜂(稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum* Ashmead，亚洲玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostriniae* Pang *et* Chen，拟澳洲赤眼蜂 *Trichogramma confusum* Viggiani 和广赤眼蜂 *Trichogramma evanescens* Westwood)的急性毒性，并进行了安全性评价，以期为害虫综合治理中协调化学防治和天敌的控害作用提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　供试蜂种及寄主昆虫

供试蜂种：稻螟赤眼蜂、亚洲玉米螟赤眼蜂、拟澳洲赤眼蜂和广赤眼蜂在室内饲养多年，均为广东省昆虫研究所提供，在人工气候箱中(温度 25 ±

1℃，相对湿度 70%~80%，光周期 16L:8D）以米蛾 *Corcyra cephalonica* Stainton 卵为寄主进行繁殖。将羽化 24~48 h 的赤眼蜂成蜂供测定用。

供试寄主昆虫：米蛾由南京农业大学农业部华东作物有害生物综合治理重点实验室提供，其幼虫用市售玉米粉在塑料盒周转箱（20 cm×15 cm×6 cm）内饲养。饲养温度为 25±1℃，相对湿度 70%~80%，光周期 16L:8D。所有寄主卵在繁蜂前用 30 W 的紫外灯照射 30 min，杀死其胚胎。

1.2 供试杀虫剂

供试杀虫剂均为原药，试验时直接用丙酮配制一定浓度的母液供测试。测试杀虫剂的有效成分含量、来源和田间推荐剂量见表 1。

1.3 测定方法

本研究采用 Desneux 等（2006）报道的药膜法测定杀虫剂对赤眼蜂成蜂的急性毒性，并在此基础上略加改进。在预试明确杀虫剂有效浓度范围的基础上，将原药用丙酮以等比级差稀释成 5~7 个浓度，吸取 0.5 mL 药液于指形管（直径×高=1.5 cm×8 cm，内表面积为 53.38 cm^2）中作为一个处理，每个处理设 3 个重复，以丙酮为对照。将加好药液的指形管放在水平桌上滚动，使指形管内形成均匀的药膜。丙酮挥发后，向每个指形管内接入 80~100 头羽化 24~48 h 的赤眼蜂成蜂，让其在指形管内自由爬行 1 h 后转入无药处理的指形管中，饲喂 10% 蜂蜜水，用黑布封指形管口并放入人工气候箱中（温度 25±1℃，相对湿度 70%~80%，避光）。在赤眼蜂被转入无药指形管中 24 h 后检查并记录管中死亡和存活蜂数（用细毛笔轻触蜂体不动者为死亡），计算死亡率。对照组赤眼蜂死亡率 <10% 为有效试验。

1.4 数据统计与分析

测试资料采用南京农业大学农业部华东作物有害生物综合治理重点实验室编制的生物测定数据处理及管理系统 Version 2.5，按 Finney（1947，1952，1972）机率值分析法计算 LC_{50} 值及其 95% 置信限（沈晋良和吴益东，1995）。以 LC_{50} 值 95% 置信限是否有重叠作为判断不同种杀虫剂毒性差异是否显著的标准（Prabhaker *et al.*，2011）。杀虫剂对赤眼蜂安全性评价根据安全性系数（safety factor，SF）来划分 4 个等级：极高风险性（安全性系数≤0.05）、高风险性（0.05<安全性系数≤0.5）、中等风险性（0.5< 安全性系数≤ 5）和低风险性（安全性系数 >5）（俞瑞鲜等，2009）。安全性系数＝杀虫剂对赤眼蜂的 LR_{50} 值（mg/m^2）/该杀虫剂的田间最高推荐剂量（mg/m^2），其中 LR_{50} 为半数致死用量，是指在室内条件下，引起赤眼蜂 50% 死亡率的杀虫剂的使用量，以单位面积上所附着的杀虫剂有效成份的量表示。在本研究中，$LR_{50}=0.5\ mL\times LC_{50}\div 53.38\ cm^2$。

2 结果与分析

2.1 杀虫剂对 4 种赤眼蜂成蜂的急性毒性

采用药膜法测定了 2 类 9 种杀虫剂对稻螟赤眼蜂、亚洲玉米螟赤眼蜂、拟澳洲赤眼蜂和广赤眼蜂成蜂的毒性，测定结果表明：不同种类的药剂对同种赤眼蜂成蜂的毒性存在明显差异，且同一种类药剂的不同品种对同种赤眼蜂成蜂的毒性也存在明显差异。总体来看，在新烟碱类杀虫剂中，烯啶虫胺和噻虫嗪对 4 种赤眼蜂成蜂都表现出最高的急性毒性，其次是啶虫脒，而吡虫啉、氯噻啉和噻虫啉的急性毒性相对较低；在大环内酯类杀虫剂中，阿维菌素和依维菌素的对 4 种赤眼蜂成蜂的急性毒性高于甲氨基阿维菌素苯甲酸盐的毒性（表 2）。

2.1.1 稻螟赤眼蜂：新烟碱类杀虫剂中噻虫嗪对稻螟赤眼蜂成蜂的毒性最高，其 LC_{50} 为 0.40（0.37~0.44）mg a.i./L；其次为烯啶虫胺，其 LC_{50} 为 0.72（0.65~0.80）mg a.i./L；而吡虫啉、氯噻啉和噻虫啉对稻螟赤眼蜂的毒性最低，其 LC_{50} 分别为 95.31（86.62~105.23），80.74（72.72~90.31）和 75.34（67.30~85.13）mg a.i./L，噻虫嗪和烯啶虫胺对稻螟赤眼蜂的毒性分别是吡虫啉毒性的 238.28 倍和 132.38 倍。大环内酯类杀虫剂中阿维菌素对稻螟赤眼蜂成蜂的毒性最高，其 LC_{50} 为 0.49（0.46~0.65）mg a.i./L，分别是甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和依维菌素毒性的 2.22 倍和 1.88 倍。测定的杀虫剂对稻螟赤眼蜂成蜂的毒性次序为：噻虫嗪 > 阿维菌素 > 烯啶虫胺 > 依维菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 > 啶虫脒 > 噻虫啉、氯噻啉 ≥ 吡虫啉（表 2）。

2.1.2 亚洲玉米螟赤眼蜂：新烟碱类杀虫剂中不同品种对亚洲玉米螟赤眼蜂成蜂的毒性都存在明显差异，其中噻虫嗪对亚洲玉米螟赤眼蜂的毒性最高[其 LC_{50} 为 2.47（2.31~3.20）mg a.i./L]，其次为烯啶虫胺[其 LC_{50} 为 4.80（4.60~6.05）mg a.i./L]，而吡虫啉对亚洲玉米螟赤眼蜂毒性最低[其 LC_{50} 为 502.13（459.80~549.62）mg a.i./L]。

噻虫嗪对亚洲玉米螟赤眼蜂的毒性分别是吡虫啉和噻虫啉毒性的 203.29 倍和 150.57 倍。大环内酯类杀虫剂中阿维菌素和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对亚洲玉米螟赤眼蜂成蜂的毒性相似，但依维菌素对亚洲玉米螟赤眼蜂成蜂的毒性明显高于上述两种大环内酯类杀虫剂的毒性。9 种杀虫剂对亚洲玉米螟赤眼蜂成蜂的毒性次序为：噻虫嗪、依维菌素≥阿维菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、烯啶虫胺 > 啶虫脒 > 氯噻啉 > 噻虫啉 > 吡虫啉（表 2）。

2.1.3　拟澳洲赤眼蜂：2 类杀虫剂对拟澳洲赤眼蜂成蜂的毒性测定结果表明：与亚洲玉米螟赤眼蜂类似，新烟碱类杀虫剂中不同品种对拟澳洲赤眼蜂成蜂的毒性都存在明显差异，且噻虫嗪和烯啶虫胺对拟澳洲赤眼蜂成蜂也显示出最高的急性毒性，其 LC_{50}分别为 0.24（0.21 ~ 0.27）和 0.83（0.74 ~ 0.96）mg a.i./L；而吡虫啉仍然表现出最低的毒性，其 LC_{50}为 752.62（687.51 ~ 828.63）mg a.i./L。噻虫嗪对拟澳洲赤眼蜂的毒性分别是吡虫啉、噻虫啉和啶虫脒毒性的 3 135.92，732.92 和 387.42 倍。大环内酯类杀虫剂中阿维菌素和依维菌素对拟澳洲赤眼蜂表现出相似的毒性，且它们的毒性明显高于甲氨基阿维菌素苯甲酸盐的毒性。2 类杀虫剂对拟澳洲赤眼蜂成蜂的毒性次序为：噻虫嗪 > 烯啶虫胺、阿维菌素≥依维菌素 > 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 > 氯噻啉 > 啶虫脒 > 噻虫啉 > 吡虫啉（表 2）。

2.1.4　广赤眼蜂：新烟碱类杀虫剂中除啶虫脒和噻虫啉对广赤眼蜂成蜂具有相似的毒性外，其他 4 种杀虫剂对广赤眼蜂成蜂的毒性均存在明显差异。噻虫嗪和烯啶虫胺对广赤眼蜂表现出最高的毒性［其 LC_{50}分别为 1.12（1.02 ~ 1.23）和 2.91（2.52 ~ 3.71）mg a.i./L］，而氯噻啉对广赤眼蜂具有最低的毒性［其 LC_{50} 为 240.13（210.91 ~ 303.24）mg a.i./L］；噻虫嗪对广赤眼蜂成蜂的毒性分别是氯噻啉和吡虫啉毒性的 214.40 倍和 44.71 倍。大环内酯类杀虫剂中不同品种对广赤眼蜂成蜂的毒性都存在明显差异，依维菌素对广赤眼蜂成蜂的毒性分别是甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和阿维菌素毒性的 5.0 倍和 1.6 倍。新烟碱类和大环内酯类杀虫剂对广赤眼蜂成蜂的毒性次序为：噻虫嗪、依维菌素 > 阿维菌素、烯啶虫胺 > 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 > 噻虫啉、啶虫脒 > 吡虫啉 > 氯噻啉（表 2）。

新烟碱类杀虫剂中噻虫啉对不同种赤眼蜂成蜂的毒性差异最大，该杀虫剂对广赤眼蜂成蜂的毒性是对亚洲玉米螟赤眼蜂成蜂毒性的 21.42 倍；其次为吡虫啉，该杀虫剂对广赤眼蜂成蜂的毒性是对拟澳洲赤眼蜂毒性的 15.03 倍；而啶虫脒对不同种赤眼蜂成蜂的毒性差异最小，该杀虫剂对广赤眼蜂的毒性仅是对拟澳洲赤眼蜂毒性的 3.82 倍（表 2）。大环内酯类杀虫剂中甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对不同种赤眼蜂的毒性差异最大，该杀虫剂对稻螟赤眼蜂成蜂的毒性是对拟澳洲赤眼蜂毒性的 19.96 倍；其次为阿维菌素，该杀虫剂对稻螟赤眼蜂的毒性是对亚洲玉米螟赤眼蜂毒性的 8.86 倍；而依维菌素对不同品种的赤眼蜂毒性差异最小，该杀虫剂对稻螟赤眼蜂成蜂毒性仅是对亚洲玉米螟赤眼蜂成蜂毒性的 2.79 倍（表 2）。

2.2　杀虫剂对 4 种赤眼蜂成蜂的安全性评价

2.2.1　稻螟赤眼蜂和拟澳洲赤眼蜂：2 类杀虫剂对稻螟赤眼蜂和拟澳洲赤眼蜂成蜂的安全性评价结果表明：除吡虫啉和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐外，其他 7 种杀虫剂中同种药剂对稻螟赤眼蜂和拟澳洲赤眼蜂成蜂的安全性性等级均相同，如烯啶虫胺、噻虫嗪和阿维菌素对上述两种赤眼蜂成蜂均为极高风险性，安全性系数为 0.01 ~ 0.03；依维菌素对上述两种赤眼蜂成蜂则为高风险性，安全性系数为 0.19 ~ 0.23；而啶虫脒、氯噻啉和噻虫啉对上述两种赤眼蜂成蜂却为中等风险性，安全性系数为 0.70 ~ 3.87。此外，吡虫啉和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对稻螟赤眼蜂成蜂为中等风险性（安全性系数为 0.57 ~ 2.98），但对拟澳洲赤眼蜂成蜂却为低风险性（安全性系数为 11.33 ~ 23.54）（表 3）。

2.2.2　亚洲玉米螟赤眼蜂和广赤眼蜂：9 种杀虫剂对亚洲玉米螟和广赤眼蜂成蜂的安全性评价结果表明：除吡虫啉、噻虫嗪、噻虫啉和依维菌素对亚洲玉米螟赤眼蜂成蜂的安全性分别低于对广赤眼蜂成蜂的安全性一个等级外，其他 5 种杀虫剂（啶虫脒、烯啶虫胺、氯噻啉、阿维菌素和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐）中每种单一药剂对 2 种赤眼蜂成蜂的安全性等级均相同。如啶虫脒和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对 2 种赤眼蜂成蜂均为中等风险性，安全性系数为 1.01 ~ 3.36；烯啶虫胺和阿维菌素对 2 种赤眼蜂成蜂均为高风险性，安全性系数为 0.06 ~ 0.15；而氯噻啉对 2 种赤眼蜂成蜂均为低风险性，安全性系数为 5.70 ~ 7.50。此外，吡虫啉对亚洲玉米螟赤眼蜂成蜂为低风险（安全性系数为 15.72），但对广赤眼蜂成蜂为中等风险性（安全性系数为 1.56）；噻虫啉和依维菌素对亚洲玉米螟赤眼蜂成蜂均为中等风险性（安全性系数为 0.54 ~ 3.45），而对广赤眼蜂

表 1 供试杀虫剂及田间推荐剂量

Table 1 Tested insecticides and its field recommended dose

杀虫剂 Insecticide	提供单位 Manufacturer	田间推荐剂量(g a. i. /ha) Field recommended dose	田间最高推荐剂量(mg/m^2) Field maximum recommended dose
新烟碱类 Neonicotinoids			
95.3%吡虫啉原药 Imidacloprid 95.3% TC	江苏常隆化工有限公司	15.00 – 30.00	3.00
97%啶虫脒原药 Acetamiprid 97% TC	江苏常隆化工有限公司	18.00 – 22.50	2.25
95%烯啶虫胺原药 Nitenpyram 95% TC	南通江山农药化工股份有限公司	15.00 – 30.00	3.00
97.7%噻虫嗪原药 Thiamethoxam 97.7% TC	先正达公司	15.00 – 22.50	2.25
95%氯噻啉原药 Imidaclothiz 95% TC	南通江山农药化工股份有限公司	22.50 – 30.00	3.00
97.75%噻虫啉原药 Thiacloprid 97.75% TC	天津兴光农药有限公司	50.40 – 100.80	10.08
大环内酯类 Macrocyclic lactiones			
93%(B1a)阿维菌素原药 Abamectin 93%(B1a) TC	河北威远生物化工股份有限公司	21.60 – 32.40	3.24
61.1%(B1)甲氨基阿维菌素苯甲酸盐原药 Emamectin benzoate 61.1%(B1) TC	河北威远生物化工股份有限公司	1.50 – 1.80	0.18
90.73%(B1)依维菌素原药 Ivermectin 90.73%(B1) TC	浙江海正化工股份有限公司	3.00 – 4.50	0.45

表 2 新烟碱类和大环内酯类杀虫剂对赤眼蜂成蜂的急性毒性

Table 2 Acute toxicity of neonicotinoids and macrocyclic lactiones to adult *Trichogramma* spp.

杀虫剂 Insecticide	稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum*			亚洲玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostriniae*			拟澳洲赤眼蜂 *Trichogramma confusum*			广赤眼蜂 *Trichogramma evanescens*		
	LC_{50}(95%置信限) LC_{50}(95% FL) (mg a. i. /L)	斜率 Slope	LR_{50} (mg/m^2)	LC_{50}(95%置信限) LC_{50}(95% FL) (mg a. i. /L)	斜率 Slope	LR_{50} (mg/m^2)	LC_{50}(95%置信限) LC_{50}(95% FL) (mg a. i. /L)	斜率 Slope	LR_{50} (mg/m^2)	LC_{50}(95%置信限) LC_{50}(95% FL) (mg a. i. /L)	斜率 Slope	LR_{50} (mg/m^2)
新烟碱类 Neonicotinoids												
吡虫啉 Imidacloprid	95.31 (86.62 – 105.23)	1.57 ± 0.12	8.93	502.13 (459.80 – 549.62)	1.73 ± 0.09	47.04	752.62 (687.51 – 828.63)	1.83 ± 0.14	70.52	50.07 (45.98 – 61.70)	1.84 ± 0.11	4.69
啶虫脒 Acetamiprid	25.21 (22.42 – 29.12)	1.76 ± 0.14	2.36	42.85 (38.20 – 51.09)	1.67 ± 0.13	4.01	92.98 (85.12 – 102.14)	1.87 ± 0.07	8.71	24.35 (22.65 – 30.35)	1.84 ± 0.10	2.28
烯啶虫胺 Nitenpyram	0.72 (0.65 – 0.80)	1.54 ± 0.09	0.07	4.80 (4.60 – 6.05)	2.09 ± 0.15	0.45	0.83 (0.74 – 0.96)	1.82 ± 0.13	0.08	2.91 (2.52 – 3.71)	1.93 ± 0.17	0.27
噻虫嗪 Thiamethoxam	0.40 (0.37 – 0.44)	1.78 ± 0.13	0.04	2.47 (2.31 – 3.20)	1.66 ± 0.12	0.23	0.24 (0.21 – 0.27)	1.88 ± 0.14	0.02	1.12 (1.02 – 1.23)	1.76 ± 0.12	0.11
氯噻啉 Imidaclothiz	80.74 (72.72 – 90.31)	1.47 ± 0.10	7.56	182.31 (162.74 – 211.92)	1.87 ± 0.09	17.13	65.20 (57.91 – 76.62)	1.64 ± 0.12	6.11	240.13 (210.91 – 303.24)	1.48 ± 0.09	22.52
噻虫啉 Thiacloprid	75.34 (67.30 – 85.13)	1.41 ± 0.08	7.05	371.91 (338.93 – 443.10)	1.92 ± 0.14	34.84	175.90 (156.13 – 208.24)	1.70 ± 0.13	16.51	17.36 (15.39 – 23.11)	1.42 ± 0.07	1.63
大环内酯类 Macrocyclic lactiones												
阿维菌素 Abamectin	0.49 (0.46 – 0.65)	1.56 ± 0.12	0.05	4.34 (3.92 – 5.05)	1.96 ± 0.16	0.41	1.05 (0.95 – 1.17)	1.62 ± 0.11	0.10	2.05 (1.67 – 3.27)	1.36 ± 0.12	0.19
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Emamectin benzoate	1.09 (0.96 – 1.25)	1.66 ± 0.14	0.10	4.46 (4.10 – 5.58)	1.69 ± 0.12	0.42	21.76 (19.59 – 24.40)	1.61 ± 0.13	2.04	6.46 (4.24 – 8.12)	1.31 ± 0.10	0.61
依维菌素 Ivermectin	0.92 (0.83 – 1.01)	1.58 ± 0.10	0.09	2.57 (2.42 – 3.39)	1.65 ± 0.14	0.24	1.11 (1.00 – 1.35)	1.70 ± 0.15	0.10	1.28 (1.19 – 1.62)	1.82 ± 0.16	0.12

表中斜率为平均值 ± 标准误。Slope in the table is represented as mean ± *SE*.

表 3　新烟碱类和大环内酯类杀虫剂对赤眼蜂成蜂的安全性评价

Table 3　Safety evaluation of neonicotinoids and macrocyclic lactiones to adult *Trichogramma* spp.

杀虫剂 Insecticide	稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum*		亚洲玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostriniae*		拟澳洲赤眼蜂 *Trichogramma confusum*		广赤眼蜂 *Trichogramma evanescens*	
	安全性系数 SF	安全性等级 Safety grade	安全性系数 SF	安全性等级 Safety grade	安全性系数 SF	安全性等级 Safety grade	安全性系数 SF	安全性等级 Safety grade
新烟碱类 Neonicotinoids								
吡虫啉 Imidacloprid	2.98	中等风险 Moderate risk	15.72	低风险 Low risk	23.54	低风险 Low risk	1.56	中等风险 Moderate risk
啶虫脒 Acetamiprid	1.05	中等风险 Moderate risk	1.78	中等风险 Moderate risk	3.87	中等风险 Moderate risk	1.01	中等风险 Moderate risk
烯啶虫胺 Nitenpyram	0.02	极高风险 Extremely high risk	0.15	高风险 High risk	0.03	极高风险 Extremely high risk	0.09	高风险 High risk
噻虫嗪 Thiamethoxam	0.02	极高风险 Extremely high risk	0.10	高风险 High risk	0.01	极高风险 Extremely high risk	0.05	极高风险 Extremely high risk
氯噻啉 Imidaclothiz	2.52	中等风险 Moderate risk	5.70	低风险 Low risk	2.04	中等风险 Moderate risk	7.50	低风险 Low risk
噻虫啉 Thiacloprid	0.70	中等风险 Moderate risk	3.45	中等风险 Moderate risk	1.64	中等风险 Moderate risk	0.16	高风险 High risk
大环内酯类 Macrocyclic lactiones								
阿维菌素 Abamectin	0.01	极高风险 Extremely high risk	0.13	高风险 High risk	0.03	极高风险 Extremely high risk	0.06	高风险 High risk
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Emamectin benzoate	0.57	中等风险 Moderate risk	2.32	中等风险 Moderate risk	11.33	低风险 Low risk	3.36	中等风险 Moderate risk
依维菌素 Ivermectin	0.19	高风险 High risk	0.54	中等风险 Moderate risk	0.23	中等风险 Moderate risk	0.27	高风险 High risk

FMRD：田间最高推荐剂量 Field maximum recommended dose；SF：安全性系数 Safety factor. $SF = LR_{50}\ (mg/m^2)/FMRD\ (mg/m^2)$.

成蜂却为高风险性(安全性系数为0.16~0.27);噻虫嗪对亚洲玉米螟赤眼蜂成蜂为高风险性(安全性系数为0.10),但对广赤眼蜂成蜂却为极高风险性(安全性系数为0.05)(表3)。

3 讨论

农药对害虫天敌的影响是协调化学防治和生物防治的基础理论问题,一项生物防治措施在实践中能否成功的实施,往往与能否协调好化学防治和生物防治有关(Brunner *et al.*, 2001; Bacci *et al.*, 2007; Prabhaker *et al.*, 2011)。使用对害虫高效且对其天敌安全的化学药剂是协调化学防治和生物防治的有效途径之一,同时也是对害虫实施综合治理(IPM)的关键(Cônsoli *et al.*, 2001; Rae *et al.*, 2009; Bueno *et al.*, 2011; Gardner *et al.*, 2011)。因此,开展农药对赤眼蜂的毒性与安全性评价,可为害虫综合防治中科学合理使用化学农药,避免或减轻农药对天敌的不良影响,协调化学防治和天敌的自然控制作用提供科学依据,同时也为农作物生产过程中逐步摆脱对化学农药的过度依赖,减少农药污染源的产生,保障和实现农产品质量安全具有重要意义。

赤眼蜂的生长发育分为卵、幼虫、预蛹、蛹和成虫5个阶段,其中前4个阶段在寄主卵内完成,只有成虫在寄主外活动。一般来说,农药对生物的毒性评价,应选择生物的代表性品种和在该生物品种最敏感的生育期进行(周丽楚等,1987)。农药对赤眼蜂不同的发育阶段具有不同的毒性,大量研究表明,在赤眼蜂5个生育期中,农药对其成虫期毒性最高(昆虫生长调节剂类农药除外),而对其他4个虫态的毒性次序,不同的试验其结论不完全一致(李开煌等,1987;张纯胄和金莉芬,1988;陈永明等,1994;张桂芬等,1997;Cônsoli *et al.*, 1998; Suh *et al.*, 2000; Takada *et al.*, 2001)。稻螟赤眼蜂、亚洲玉米螟赤眼蜂、拟澳洲赤眼蜂和广赤眼蜂是水稻、玉米、棉花、蔬菜、甘蔗等农作物及林木和果树上许多重要鳞翅目害虫的天敌,且在我国已被大量繁殖和推广应用(陈永明等,1994;杨崇珍等,1995;Smith, 1996;张敏玲等,1997;孙超等,2008;朱九生等,2009)。因此,本研究开展了新烟碱类和大环内酯类杀虫剂对上述4种赤眼蜂成蜂的毒性与安全性评价。

新烟碱类杀虫剂是当前国内外防治半翅目害虫蚜虫、粉虱和飞虱以及鞘翅目甲虫类的重要品种,其作用靶标是作为激动剂作用于位于神经后突触的烟碱乙酰胆碱受体(Tomizawa and Casida, 2003; Jeschke and Nauen, 2008),然而,在害虫综合治理中,应谨慎使用该类药剂(Cloyd and Bethke, 2011; Prabhaker *et al.*, 2011)。本研究中噻虫嗪对4种赤眼蜂为高风险~极高风险性,类似的相关研究也表明新烟碱类杀虫剂噻虫嗪或吡虫啉对一些赤眼蜂种如螟黄赤眼蜂,短管赤眼蜂 *Trichogramma pretiosum* Riley, *Trichogramma platneri* Nagarkatti,甘蓝夜蛾赤眼蜂 *Trichogramma brassicae* Westwood 和卷蛾赤眼蜂 *Trichogramma cacoeciae* Marchal 具有较高的毒性风险(Brunner *et al.*, 2001; Williams and Price, 2004; Preetha *et al.*, 2009; Saber, 2011)。但也有一些例外,如吡虫啉对稻螟赤眼蜂具有较低的毒性风险(张桂芬等,1997),这与本研究结果一致。大环内酯类杀虫剂对多种重要害虫和害螨显示出较高的活性,且具有高效、广谱及低残留等特点,该类药剂主要作用于昆虫的γ-氨基丁酸受体门控氯离子通道(Lasota and Dybas, 1991)。本研究表明阿维菌素对4种赤眼蜂为高风险~极高风险,其他的研究也表明该种药剂对一些赤眼蜂品种如卷蛾赤眼蜂和匀鞭蚜小蜂 *Encarsia* sp. 具有较高的毒性风险(Hassan *et al.*, 1998; Bacci *et al.*, 2007);而甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对4种赤眼蜂的毒性为低风险~中等风险,也有研究表明该种药剂对螟黄赤眼蜂和短管赤眼蜂的毒性风险较低(Giraddi and Gundannavar, 2006)。

各种农药由于作用机制、化学结构和理化性质的不同,对同种赤眼蜂的毒性也有差异(孙超等,2008; Wang *et al.*, 2008a)。新烟碱类杀虫剂中噻虫嗪对4种赤眼蜂毒性最高,其次是大环内酯类杀虫剂阿维菌素、依维菌素和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐,然后是新烟碱类杀虫剂烯啶虫胺和啶虫脒,而噻虫啉、氯噻啉和吡虫啉的毒性最低。同种药剂对不同赤眼蜂品种毒性的差异可能与不同赤眼蜂品种的形态结构、体表面积、体重、体形大小、生理功能及生化代谢有关(张纯胄和金莉芬,1988;杨崇珍等,1995; Desneux *et al.*, 2006)。总体来看,2类9种杀虫剂对稻螟赤眼蜂毒性最高,其次为广赤眼蜂,但对亚洲玉米螟赤眼蜂的毒性最低。酯酶、谷胱甘肽-S-转移酶和多功能氧化酶是昆虫体内(包括天敌)重要的代谢解毒酶系(沈晋良和吴益东,1995; Bacci *et al.*, 2007),其活性的提高有助于赤

眼蜂对进入体内杀虫剂的代谢降解。供试农药品种的不同，使赤眼蜂种群在酶活性、酶对底物的亲和力和酶对杀虫剂的敏感性等多方面都产生了明显的差异，此外，同一种代谢酶在不同赤眼蜂品种体内也有差异，这也可能是不同品种杀虫剂对同种赤眼蜂毒性存在差异，且同一杀虫剂对不同种赤眼蜂毒性存在差异的原因。尽管新烟碱类和阿维菌素类大部分杀虫剂对赤眼蜂成蜂都有一定的急性毒性风险，但本研究是在室内条件下进行的，赤眼蜂成蜂受到最大量的农药选择压；而在实际生产田间施药后，赤眼蜂成蜂可以进入庇护区或躲避施药的区域，且农药的光解也会减轻其对赤眼蜂的影响。因此，在田间条件下上述两类杀虫剂对赤眼蜂的毒性风险可能会大大降低。

已有研究表明，吡虫啉对稻螟赤眼蜂和啶虫脒对广赤眼蜂毒性较低；而阿维菌素对广赤眼蜂毒性较高，这与本研究结果一致(张桂芬等，1997；朱九生等，2009)。尽管新烟碱类和大环内酯类杀虫剂已经成为国内外防治多种作物害虫的主要品种，但为了充分发挥赤眼蜂对害虫的控制作用，从保护天敌的角度出发，做到科学合理用药，应减少使用对赤眼蜂具有高风险～极高风险性的杀虫剂如烯啶虫胺、噻虫嗪和阿维菌素等，尤其尽量避开在田间赤眼蜂种群数量上升阶段使用(Clody and Bethke，2011)。此外，在田间人工释放赤眼蜂时要充分考虑与最后一次施药的间隔时间，在赤眼蜂种群丰富或人工释放赤眼蜂的场所要慎重选择农药品种及其使用方法，以免造成对赤眼蜂的大量杀伤(Kaspi and Parrella，2005；Poletti *et al.*，2007)。

本研究主要进行了杀虫剂对赤眼蜂的急性毒性(即死亡率)评价，而杀虫剂对赤眼蜂的影响，除对赤眼蜂具有直接致死作用外，还可以在其他多个方面即亚致死效应表现出来，如对其生长发育、寿命和繁殖率等的影响(O'Brien *et al.*，1985；Liu and Stansly，1997；Suh *et al.*，2000；Cônsoli *et al.*，2001；Takada *et al.*，2001)；在行为上表现为寄生率、交配率、在作物上的分布、取食行为及对寄主的搜索效率等的影响(古德就等，1995；Hassan *et al.*，1998)。也有研究表明一些农药不仅对赤眼蜂当代产生亚致死效应，且对其下一代的生物学特性也会产生不利影响(Mendel *et al.*，1994；张桂芬等，1997；Desneux *et al.*，2007；Saber，2011)，这些表现都会通过不同的途径作为对天敌种群抑制的信息而起作用。但迄今为止，农药对赤眼蜂亚致死效应的研究还不够深入，尤其关于农药对赤眼蜂体内酶动力学影响的研究更少。此外，赤眼蜂在田间接触农药的量及方式与室内不完全一致，如赤眼蜂成蜂在施药的植物表面行走、取食花粉或液滴时都有可能使农药进入虫体(Elzen *et al.*，1989；Zchori-Fein *et al.*，1994)，以及寄主和环境条件也有差异，从而造成农药对赤眼蜂的室内与室外测定结果也可能不同。已有研究表明噻虫啉残留在室内和室外对卷蛾赤眼蜂羽化过程中存活的影响不同，其原因在于噻虫啉在田间条件下易分解(Schuld and Schmuck，2000)。因此，为了全面评价农药对赤眼蜂的安全性，应加强农药对赤眼蜂亚致死效应的研究，同时也应开展相关的田间试验，以便更准确地评价农药对赤眼蜂的影响。

参考文献(References)

Bacci L, Crespo ALB, Galvan TL, Pereira EJG, Picanço MC, Silva GA, Chediak M, 2007. Toxicity of insecticides to the sweetpotato whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) and its natural enemies. *Pest Management Science*, 63(7): 699－706.

Bao HB, Liu SH, Gu JH, Wang XZ, Liang XL, Liu ZW, 2009. Sublethal effects of four insecticides on the reproduction and wing formation of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Pest Management Science*, 65(2): 170－174.

Bayram A, Salerno G, Onofri A, Conti E, 2010. Sub-lethal effects of two pyrethroids on biological parameters and behavioral responses to host cues in the egg parasitoid *Telenomus busseolae*. *Biological Control*, 53(2): 153－160.

Brunner JF, Dunley JE, Doerr MD, Beers EH, 2001. Effect of pesticides on *Colpoclypeus florus* (Hymenoptera: Eulophidae) and *Trichogramma platneri* (Hymenoptera: Trichogrammatidae), parasitoids of leafrollers in Washington. *Journal of Economic Entomology*, 94(5): 1075－1084.

Bueno AF, Batistela MJ, Bueno RCOF, França-Neto JB, Nishikawa MAN, Filho AL, 2011. Effects of integrated pest management, biological control and prophylactic use of insecticides on the management and sustainability of soybean. *Crop Protection*, 30(7): 937－945.

Carmo EL, Bueno AF, Bueno RCOF, 2010. Pesticide selectivity for the insect egg parasitoid *Telenomus remus*. *BioControl*, 55(4): 455－464.

Chen YM, Fu DC, Huang PZ, He YY, 1994. Comparison of toxicity of four kinds of insecticides on every growth stage of *Trichogrmma ostriniae* Pang *et* Chen in common use. *Entomological Knowledge*, 31(6): 330－332. [陈永明，傅达昌，黄佩忠，何永银，1994. 棉田四种常用杀虫剂对玉米螟赤眼蜂不同虫态的杀伤力. 昆虫知识，31(6): 330－332]

Cloyd RA, Bethke JA, 2011. Impact of neonicotinoid insecticides on natural enemies in green house and interiorscape environments. *Pest Management Science*, 67(1): 3－9.

Cônsoli FL, Parra JRP, Hassan SA, 1998. Side-effects of insecticides used in tomato fields on the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum* Riley (Hym., Trichogrammatidae), a natural enemy of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lep., Gelechiidae). *Journal of Applied Entomology*, 122(1): 43 – 47.

Cônsoli FL, Botelhop SM, Parra JRP, 2001. Selectivity of insecticides to the egg parasitoid *Trichogramma galloi* Zucchi, 1988 (Hym., Trichogrammatidae). *Journal of Applied Entomology*, 125(1 – 2): 37 – 43.

Deng LL, Xu MQ, Dai JY, Cao H, Li SQ, 2005. Research progress on ecological effects of insecticides on spiders in croplands. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2005, 11(4): 509 – 513.［邓玲玲，许木启，戴家银，曹宏，李枢强，2005. 农药对农田蜘蛛生态效应的研究进展. 应用与环境生物学报，11(4): 509 – 513］

Desneux N, Decourtye A, Delpuech JM, 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52: 81 – 106.

Desneux N, Denoyelle R, Kaiser L, 2006. A multi-step bioassay to assess the effect of the deltamethrin on the parasitic wasp *Aphidius ervi*. *Chemosphere*, 65(10): 1697 – 1706.

Elzen GW, O'Brien PJ, Powell JE, 1989. Toxic and behavioral effects of selected insecticides on parasitoid *Microplitis croceipes*. *BioControl*, 34(1): 87 – 94.

Gandhi PI, Gunasekaran K, Poonguzhali S, Anandham R, Kim GH, Chung KY, Sa T, 2005. Laboratory evaluation of relative toxicities of some insecticides against *Trichogramma chilonis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 8(4): 381 – 386.

Gardner J, Hoffmann MP, Pitcher SA, Harper JK, 2011. Integrating insecticides and *Trichogramma ostriniae* to control European corn borer in sweet corn: economic analysis. *Biological Control*, 56(1): 9 – 16.

Giraddi RS, Gundannavar KP, 2006. Safety of emamectin benzoate, an avermectin derivative to the egg parasitoids, *Trichogramma* spp. *Karnataka Journal of Agricultural Science*, 19(2): 417 – 418.

Gu DJ, Wright DJ, Waage JK, 1995. Effects of sublethal doses of insecticides on the mating behaviour of male parasitoid *Diadegma eucerophaga*. *Journal of South China Agricultural University*, 16(2): 55 – 59.［古德就，Wright DJ，Waage JK，1995. 农药亚致死剂量对优姬蜂交配行为影响的研究. 华南农业大学学报，16(2): 55 – 59］

Hassan SA, Haves BO, Degrande PE, Herai K, 1998. The side-effects of pesticides on the egg parasitoid *Trichogramma cacoeciae* Marchal (Hym., Trichogrammatidae), acute dose-response and persistence tests. *Journal of Applied Entomology*, 122(1 – 5): 569 – 573.

Herz A, Hassan SA, Hegazi E, Khafagi WE, Nasr FN, Youssef AI, Agamy E, Blibech I, Ksentini I, Ksantini M, Jardak T, Bento A, Pereira JA, Torres L, Souliotis C, Moschos T, Milonas P, 2007. Egg parasitoids of the genus *Trichogramma* (Hymenoptera, Trichogrammatidae) in olive groves of the Mediterranean region. *Biological Control*, 40(1): 48 – 56.

Jeschke P, Nauen R, 2008. Neonicotinoids – from zero to hero in insecticide chemistry. *Pest Management Science*, 64(11): 1084 – 1098.

Kaspi R, Parrella MP, 2005. Abamectin compatibility with the leafminer parasitoid *Diglyphus isaea*. *Biological Control*, 35(2): 172 – 179.

Lasota JA, Dybas RA, 1991. Avermectins, a novel class of compound: implication for use in arthropod pest control. *Annual Review of Entomology*, 36: 91 – 117.

Li KH, Xu X, Li YF, Meng QZ, Zhou LC, 1987. The toxicity of 27 pesticides on different developmental stages of *Trichogramma nubilale*. *Natural Enemies of Insects*, 9(1): 33 – 44.［李开煌，许雄，李砚芬，蒙启枝，周丽楚，1987. 二十七种农药对欧洲玉米螟赤眼蜂不同发育阶段毒力测定. 昆虫天敌，9(1): 33 – 44］

Liu HP, Han JC, Xu Q, Lu CJ, Liu HQ, 2007. Selective toxicity of insecticides between *Aphis citricola* and *Coccinella septempunctala*. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 15(2): 126 – 129.［刘慧平，韩巨才，徐琴，吕朝军，刘慧芹，2007. 杀虫剂对苹果黄蚜与七星瓢虫的毒力及选择性研究. 中国生态农业学报，15(2): 126 – 129］

Liu TX, Stansly PA, 1997. Effects of pyriproxyfen on three species of *Encarsia* (Hymenoptera: Aphelinidae), endoparasitoids of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology*, 90(2): 404 – 411.

Mendel Z, Blumberg D, Ishaaya I, 1994. Effects of some insect growth regulators on natural enemies of scale insects (Hom.: Coccoidea). *BioControl*, 39(2): 199 – 209.

O'Brien PJ, Elzen GW, Vinson SB, 1985. Toxicity of azinphosmethyl and chlordimeform to parasitoid *Bracon mellitor* (Hymenoptera: Braconidae): lethal and reproductive effects. *Environmental Entomology*, 14(6): 891 – 894.

Poletti M, Maia AHN, Omoto C, 2007. Toxicity of neonicotinoid insecticides to *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus macropilis* (Acari: Phytoseiidae) and their impact on functional response to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Biological Control*, 40(1): 30 – 36.

Prabhaker N, Castle SJ, Naranjo SE, Toscano NC, Morse JG, 2011. Compatibility of two systemic neonicotinoids, imidacloprid and thiamethoxam, with various natural enemies of agricultural thiamethoxam, with various natural enemies of agricultural pests. *Journal of Economic Entomology*, 104(3): 773 – 781.

Preetha G, Stanley J, Suresh S, Kuttalam S, Samiyappan R, 2009. Toxicity of selected insecticides to *Trichogramma chilonis*: assessing their safety in the rice ecosystem. *Phytoparasitica*, 37(3): 209 – 215.

Rae RG, Robertson JF, Wilson MJ, 2009. Optimization of biological (*Phasmarhabditis hermaphrodita*) and chemical (iron phosphate and metaldehyde) slug control. *Crop Protection*, 28(9): 765 – 773.

Saber M, 2011. Acute and population level toxicity of imidacloprid and fenpyroximate on an important egg parasitoid, *Trichogramma cacoeciae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Ecotoxicology*, 20(6): 1476 – 1484.

Schneider M, Smagghe G, Pineda S, Viñuela E, 2008. The ecological impact of four IGR insecticides in adults of *Hyposoter didymator* (Hym., Ichneumonidae): pharmacokinetics approach.

Ecotoxicology, 17(3): 181 – 188.

Schuld M, Schmuck R, 2000. Effects of thiacloprid, a new chloronicotinyl insecticide, on the egg parasitoid *Trichogramma cacoeciae*. *Ecotoxicology*, 9(3): 197 – 205.

Shen JL, Wu YD, 1995. Insecticide Resistance in Cotton Bollworm and Its Management. China Agriculture Press, Beijing. 177 – 280. [沈晋良，吴益东，1995. 棉铃虫抗药性及其治理. 北京：中国农业出版社. 177 – 280]

Smith SM, 1996. Biological control with *Trichogramma*: advances, successes, and potential of their use. *Annual Review of Entomology*, 41: 375 – 406.

Suh CP, Orr DB, van Duyn JW, 2000. Effects of insecticides on *Trichogramma exiguum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) preimaginal development and adult survival. *Journal of Economic Entomology*, 93(3): 577 – 583.

Sun C, Su JY, Shen JL, Zhang X, 2008. Laboratory safety evaluation of insecticides to *Trichogramma japonicum*. *Chinese Journal of Rice Science*, 22(1): 93 – 98. [孙超，苏建亚，沈晋良，张玺，2008. 杀虫剂对二化螟卵寄生性天敌稻螟赤眼蜂室内安全性评价. 中国水稻科学，22(1): 93 – 98]

Takada Y, Kawamura S, Tanaka T, 2001. Effects of various insecticides on the development of the egg parasitoid *Trichogramma dendrolimi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Journal of Economic Entomology*, 94(6): 1340 – 1343.

Thomson LJ, Hoffmann AA, 2006. Field validation of laboratory-derived IOBC toxicity ratings for natural enemies in commercial vineyards. *Biological Control*, 39(3): 507 – 515.

Tomizawa M, Casida JE, 2003. Selective toxicity of neonicotinoids attributable to specificity of insect and mammalian nicotinic receptors. *Annual Review of Entomology*, 48: 339 – 364.

Wang HY, Yang Y, Su JY, Shen JL, Gao CF, Zhu YC, 2008a. Assessment of the impact of insecticides on *Anagrus nilaparvatae* (Pang *et* Wang) (Hymenoptera: Mymanidae), an egg parasitoid of the rice planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). *Crop Protection*, 27(3 – 5): 514 – 522.

Wang YH, Gao CF, Zhu YC, Chen J, Li WH, Zhuang YL, Dai DJ, Zhou WJ, Ma CY, Shen JL, 2008b. Imidacloprid susceptibility survey and selection risk assessment in field populations of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Journal of Economic Entomology*, 101(2): 515 – 522.

Williams L, Price LD, 2004. A space-efficient contact toxicity bioassay for minute Hymenoptera, used to test the effects of novel and conventional insecticides on the egg parasitoids *Anaphes iole* and *Trichogramma pretiosum*. *BioControl*, 49(2): 163 – 185.

Yang CZ, Wang XL, Zhang X, 1995. Toxic effects of several pyrethroid insecticides on three species of trichogrammatides. *Acta Universitatis Agriculturae Boreali-occidentalis*, 23(3): 108 – 110. [杨崇珍，王兴林，张兴，1995. 菊酯类杀虫剂对几种赤眼峰的毒力测定. 西北农业大学学报，23(3):108 – 110]

Yu RX, Yu WH, Wu CX, Wu SG, Chen LP, Cang T, Zhao XP, 2009. Effects of different pesticides on adults, larvae, eggs and pupae of *Trichogramma nubilale*. *Agrochemicals*, 48(8): 588 – 590. [俞瑞鲜，俞卫华，吴长兴，吴声敢，陈丽萍，苍涛，赵学平，2009. 不同农药对欧洲玉米螟赤眼蜂的影响. 农药，48(8): 588 – 590]

Zchori-Fein E, Roush RT, Sanderson JP, 1994. Potential for integration of biological and chemical control of greenhouse whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) using *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) and abamectin. *Environmental Entomology*, 23(5): 1277 – 1282.

Zhang CZ, Jin LF, 1988. Toxicity determination of insecticides to dominant species of natural enemies of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee. *Natural Enemies of Insects*, 10(3): 139 – 145. [张纯胄，金莉芬，1988. 杀虫剂对稻纵卷叶螟两种优势种天敌的毒效测定. 昆虫天敌，10(3): 139 – 145]

Zhang GF, Takeuci H, Hiral K, 1997. The effects of imidacloprid and buprofezin on population multiplication of *Trichogramma japonicum*, egg parasite of rice borer. *Acta Phytophylacica Sinica*, 24(2): 164 – 168. [张桂芬，竹内傅昭，平井一男，1997. 三种杀虫剂对稻螟赤眼蜂种群增长的影响. 植物保护学报，24(2): 164 – 168]

Zhang ML, 1997. Effects of 14 insecticides on adults, larvae, eggs, and pupae of *Trichogramma confusum*. *Natural Enemies of Insects*, 19(1): 11 – 14. [张敏玲，1997. 菜田常用杀虫剂对拟澳洲赤眼蜂的影响. 昆虫天敌，19(1): 11 – 14]

Zhou LC, Chen R, Cai DJ, 1987. Studies on the eco-environment safety assessment of chemical pesticides – Ⅺ. The toxicity and assessment of pesticides to trichogrammatides. *Rural Eco-environment*, 3: 12 – 27. [周丽楚，陈锐，蔡道基，1987. 化学农药对生态环境安全评价研究——Ⅺ. 农药对天敌赤眼蜂的毒性与评价. 农村生态环境，3: 12 – 27]

Zhu JS, Lian ML, Wang J, Qin S, 2009. The toxicity of abamectin on different developmental stages of *Trichogramma evanescens* and effects on its population dynamics. *Acta Ecologica Sinica*, 29(9): 4738 – 4744. [朱九生，连梅力，王静，秦曙，2009. 阿维菌素对广赤眼蜂(*Trichogramma evanescens*)不同发育阶段的毒性和实验种群动态的影响. 生态学报，29(9): 4738 – 4744]

(责任编辑：赵利辉)